

KETERGANTUNGAN ANTAR PARAMETER DAS SEBAGAI UNSUR MODEL HIDROLOGI

Oleh :

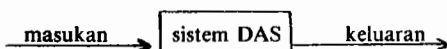
Dr. Ir. Sri Harto Br. Dipl. H.^{*)}

Intisari

Model hidrologi merupakan sistem pengalihragaman hujan menjadi debit. Unsur-unsur penyusun DAS memiliki tiga dimensi ruang (spatial dimension) dan dimensi waktu. Dimensi ruang lebih ditekankan pada sifat fisik, morphometry dan topografi, dimensi waktu mencakup berbagai perubahan yang terjadi atas sifat-sifat di atas, baik alami maupun akibat perilaku manusia. Berbagai model dikembangkan berdasarkan dimensi-ruang parameter DAS tertentu, akan tetapi lebih bersifat terbatas pada kondisi hidrologi sejenis dan model-model sesaat (event model). Untuk penyusunan model di Indonesia hal ini perlu ditelaah secara khusus, karena berbagai sifat parameter DAS ternyata mempunyai peran sangat penting dalam pengalihragaman hujan dibandingkan dengan parameter DAS yang dipergunakan dalam penyusunan model hidrologi di berbagai negara.

Pendahuluan

Pengalihragaman hujan menjadi debit secara hidrologik dapat digambarkan dengan diagram sederhana sebagai berikut : (Gambar 1).



Gambar 1. Diagram sistem DAS.

Sistem DAS dalam hal ini mencakup besaran-besaran hidrologi yang berubah dengan waktu (*variable*) maupun besaran-besaran yang tidak berubah dengan waktu (*parameter*). "Variable" hidrologi mencakup besaran hujan, penguapan, tinggi muka air dan debit, kualitas air dan kelembaban tanah. Sifat hidrologi lainnya adalah sifat-sifat topografi, morphometri, permeabilitas, sifat tampungan akifer dan pola jaringan kuras. Parameter hidrologi lebih berpengaruh pada pengalihragaman masukan menjadi keluaran. Walaupun nampak-

nya tidak berubah dengan waktu, namun dalam kenyataannya parameter ini juga mempunyai dimensi waktu, karena terjadinya perubahan-perubahan baik alami ataupun sebagai akibat perilaku manusia (Sri Harto, 1985).

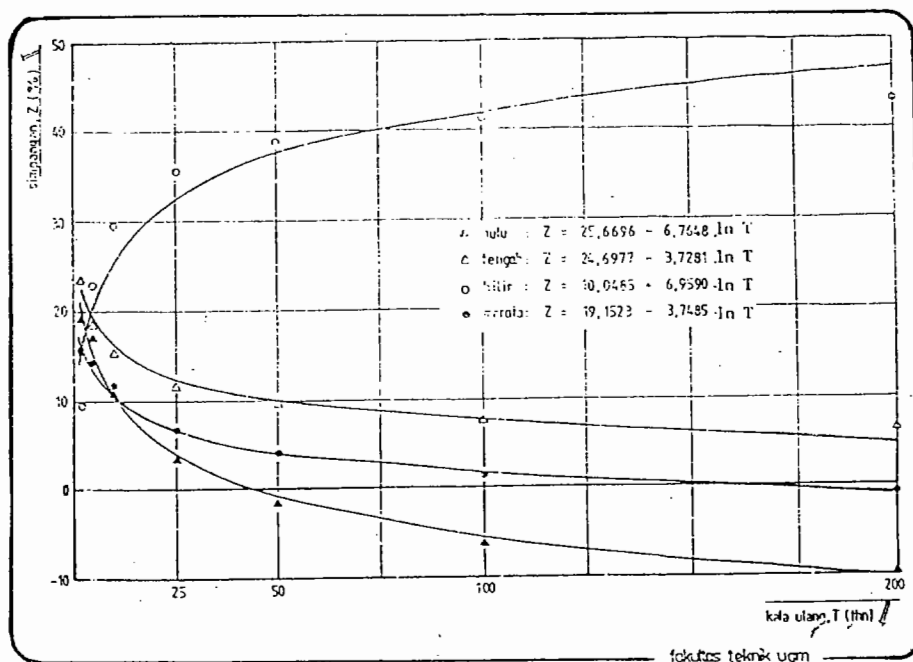
Besaran masukan hujan merupakan besaran yang tidak dapat dikendalikan secara hidrologik, karena selain merupakan proses alam juga proses tersebut tidak dipengaruhi oleh faktor-faktor hidrologi. Upaya yang dapat dilakukan adalah untuk mendapatkan perkiraan besaran sebenarnya hujan yang terjadi dalam suatu DAS dengan pengaturan jaringan pengukuran hujan (*rainfall network*). Dalam upaya ini peranan parameter DAS sangat besar. Dalam hal ini Rodda (1967), Sugawara (1980, 1981), Sangsnit (1980), van der Made (1986) menunjukkan bahwa bukan hanya jumlah setasiun hujan yang berpengaruh terhadap ketelitian perkiraan hujan, akan tetapi juga penyebarannya dalam DAS yang bersangkutan. Dalam hal ini dikatakan bahwa penempatan setasiun hujan merata di seluruh DAS akan memberikan ketelitian yang lebih tinggi dibandingkan dengan penempatan secara rambang. Hal

^{*)} Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fak. Teknik UGM.

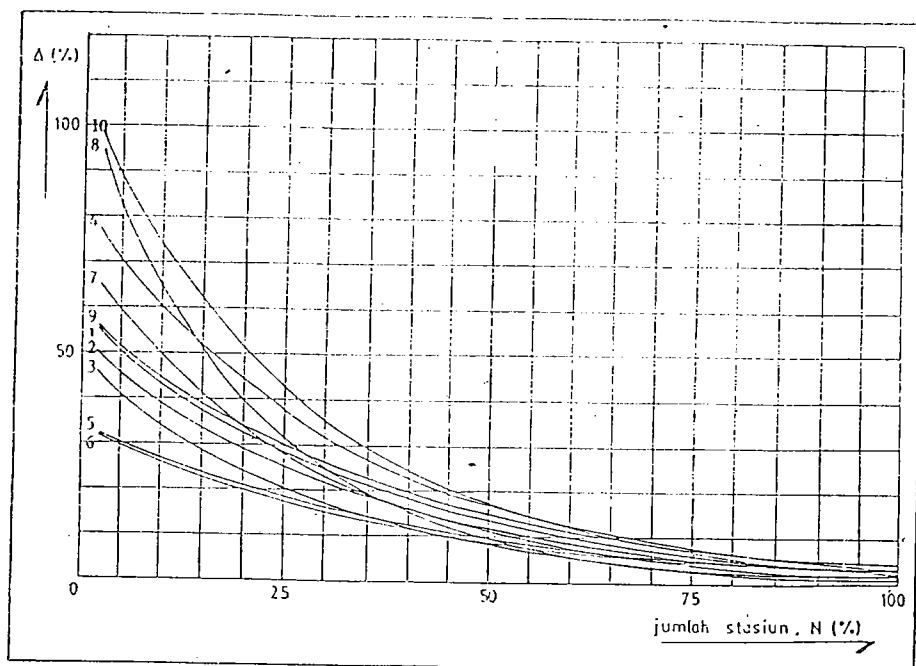
ini perlu dikaji lebih lanjut, karena dalam penelitian di beberapa DAS di Pulau Jawa ditemukan keadaan yang berbeda (Sri Harto, 1985, 1986a, 1986b). Hal yang terakhir ini sejalan dengan van der Schaaf (1986). Secara umum dapat dikatakan bahwa kerapatan jaringan setasiun hujan harus makin besar pada tempat-tempat dengan variasi hujan terbesar. Bentuk DAS yang secara tidak langsung menyangkut keadaan kerapatan jaringan pengukur hujan yang ditunjukkan dengan faktor-simetri SIM dalam persamaan (1). Analisis lebih lanjut terhadap persamaan ini tidak dapat ditemukan hubungan antara ketelitian dengan salah satu parameter DAS yang menyusun persamaan (1) tersebut. Akan tetapi dalam penelitian terpisah lebih jauh ditemukan bahwa perkiraan besar hujan-rancangan sangat dipengaruhi oleh jumlah setasiun hujan dalam hubungan eksponensial (Sri Harto, 1986c) dan penyimpangan yang berbeda-beda untuk konsentrasi setasiun hujan di tempat-tempat tertentu (Sri Harto, 1986d). Hal ini masih harus diteliti lebih jauh karena di satu pihak berpendapat bahwa perkiraan hujan yang terbaik diperoleh dengan penyebaran setasiun hujan merata di seluruh DAS, akan tetapi di pihak lain ternyata ada pengaruh sifat topografi DAS dan adanya kecenderungan ketelitian yang berbeda dengan berbagai konsentrasi setasiun hujan yang berbeda. Lebih jelasnya dapat diperhatikan gambar 2, 3, dan 4.

Variabilitas muka air sungai (atau debit) sangat dipengaruhi oleh variabilitas masukan hujan dan penguapan dan dialihragamkan oleh sistem DAS (parameter DAS). Sifat tanggapan (*response*) dan kepekaan suatu DAS terhadap besaran masukan tertentu sangat ditentukan oleh sifat parameter DAS yang menyusunnya. Tanggapan DAS yang lamban yang nampak dari perubahan debit yang lambat terjadi di sungai-sungai yang memiliki komponen aliran dasar (*base flow*) yang besar. Hal ini dapat terjadi karena kemampuan tampungan (*storage*) yang besar, atau adanya tampungan-tampungan lain yang sangat berpengaruh pada kemampuan penyimpanan air dalam DAS. Sebaliknya tanggapan sungai-sungai yang cepat (peka) lebih banyak terjadi pada sungai-sungai dengan komponen aliran dasar yang kecil. Perbedaan kemampuan tampungan DAS dapat saja terjadi secara alami, sebagai akibat perilaku manusia, atau keduanya.

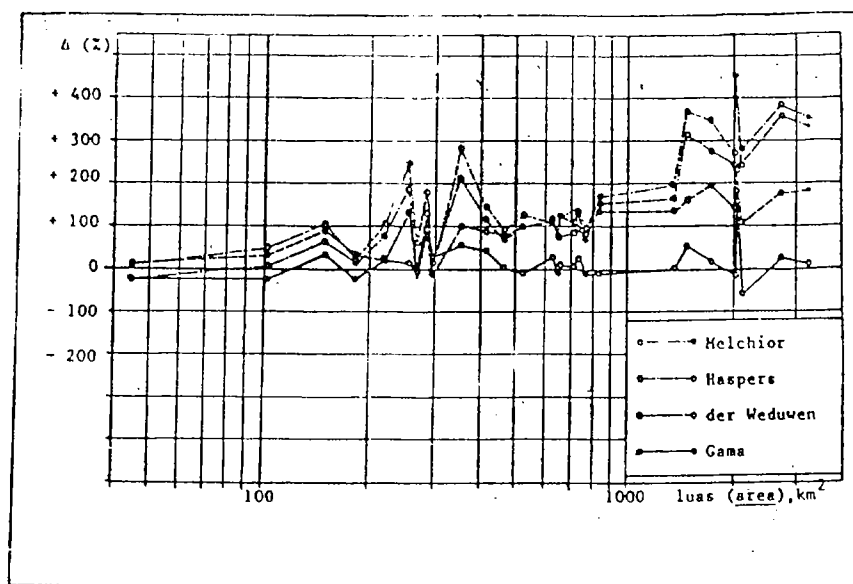
Dalam penyusunan persamaan-persamaan rasional maupun model-model hidrologi yang sederhana peranan parameter DAS sangat menonjol. Persamaan-persamaan untuk menghitung debit puncak, debit rata-rata, waktu-kelambatan, waktu-dasar banyak dikaitkan dengan besaran-besaran parameter DAS. Parameter DAS yang paling banyak dipergunakan dalam persamaan-persamaan adalah luas DAS dan landai rata-



Gambar 2. Penyimpangan akibat konsentrasi setasiun hujan dalam DAS.



Gambar 3. Penyimpangan sebagai fungsi jumlah setasiun hujan.



Gambar 4. Persen penyimpangan (Δ) hujan 100 tahunan dihitung dengan berbagai cara terhadap analisis frekuensi.

rata sungai, selain masih ada beberapa parameter lain yang kadang-kadang dijumpai dalam pemakaian. (Perhatikan persamaan-persamaan untuk der Weduwen, Melchior, Haspers, Snyder, Kennedy and Watt, Gupta, Rodda, Rostomov, Reich, Rao, Black, Halasi-Kun). Untuk model-model yang lebih besar, cara yang sama juga diikuti meskipun dengan cara penyajian yang berbeda dan dalam keterkaitan yang lebih kompleks. Untuk kepentingan tersebut dalam penelitian ini akan ditunjukkan beberapa parameter DAS yang dinilai secara hidrologik mempunyai peranan cukup besar dalam proses transformasi hujan menjadi debit di beberapa DAS di Pulau Jawa.

Cara Penelitian

Untuk kepentingan penelitian ini ditetapkan 30 buah DAS di Pulau Jawa dengan jangkauan luas antara 44,5 km² sampai 3258 km² (Sri Harto, 1985). Semua parameter DAS yang selama ini sering dipergunakan dalam penyusunan model dan persamaan-persamaan dihitung, atau diukur dan selanjutnya diadakan pengujian. Selanjutnya diperkenalkan beberapa parameter baru yang dinilai memberikan pengaruh yang menonjol terhadap salah satu besaran hidrologi. Parameter-parameter yang disebutkan terdahulu maupun terakhir disajikan dalam tabel-tabel berikut.

Pengujian dilakukan secara sederhana dengan mencari ketergantungan besaran hidrologik, baik yang berupa waktu capai-puncak (*time to peak*), waktu naik (*time of rise*), debit-puncak (*peak discharge*), maupun waktu-dasar (*base time*) terhadap parameter DAS. Parameter yang dimaksudkan di sini dapat merupakan parameter tunggal maupun gabungan satu atau lebih parameter DAS dalam lebih-kurang 140 pengujian.

Masalah yang timbul adalah ketelitian yang dapat dicapai dengan penggunaan photo copy peta topografi dengan skala 1 : 50.000. Penggunaan photo copy dalam hal ini semata-mata untuk menekan biaya penelitian, akan tetapi tetap diperhatikan kemungkinan terjadinya "distorsi" dalam peta dibandingkan dengan hasil peta aslinya. Dalam pengukuran dengan peta topografi berwarna, dikenal pengukuran dengan "blue line". Pengukuran dengan peta hitam putih, dengan pengambilan nilai rata-rata 2 - 3 kali pengukuran hanya menimbulkan kesalahan tidak lebih dari 2,5%. Hal tersebut dapat dipahami karena kesalahan lebih banyak terjadi pada penafsiran sungai-sungai tingkat satu, sedangkan jumlah itu jauh lebih kecil dibanding-

kan dengan jumlah panjang sungai ataupun jumlah pangsa sungai dalam DAS. Dikemukakan oleh Werritty (1972) bahwa pengukuran dengan peta 1 : 24.000 memberikan perkiraan-kurang (*underestimate*) sebesar 30 - 50% dibandingkan dengan pengukuran yang sebenarnya di lapangan. Pengambilan peta 1 : 50.000 semata-mata hanya didasarkan pada kemudahan mendapatkannya di lapangan.

Hasil Pengukuran dan Pembahasan

Pengukuran-pengukuran yang dilakukan dengan cara di atas diperoleh hasil-hasil seperti yang dicantumkan dalam daftar I untuk parameter DAS yang telah dikenal, dan tabel II untuk parameter yang diperkenalkan. Perlu ditekankan di sini bahwa cara pemberian tingkat sungai dalam DAS mengikuti cara Strahler (1964). Tarif parameter baru tersebut disajikan dalam lampiran.

Memperhatikan tabel I, dalam pengujian hanya terdapat beberapa parameter yang mempunyai korelasi tinggi dengan parameter lainnya. Dalam tabel II juga tidak dijumpai parameter yang khas, kecuali nilai SN yang relatif tetap sebesar 0,74. Selain itu juga dijumpai bahwa nilai SIM merupakan indikator kuat terhadap bentuk suatu DAS, dengan nilai spesifik sebesar 0,5. Suatu DAS dengan nilai SIM > 0,5 pada umumnya bentuk DAS sedemikian sehingga lebar di bagian hulu dan mengecil di sebelah hilir. Demikian sebaliknya untuk nilai SIM < 0,5.

Enam buah parameter DAS yang diperkenalkan tersebut merupakan parameter penting yang ternyata berperan sangat menentukan dalam pengalihragaman hujan menjadi banjir. Dalam kaitan ini pengujian telah dilakukan untuk menurunkan persamaan-persamaan Hidrograf Satuan Sintetik Gama I (Sri Harto, 1985). Persamaan yang diturunkan memberikan hasil yang cukup baik.

Meskipun dengan koefisien korelasi yang tidak terlalu tinggi beberapa hubungan antar parameter lain yang dapat ditemukan diantaranya sebagai berikut :

$$L = 1,9250 A^{0,53} \quad (2)$$

$$LCA = 0,36 L^{1,061} \quad (3)$$

$$LCA = 0,9590 A^{0,518} \quad (4)$$

$$F = 0,46 D^{1,274} \quad (5)$$

Tabel 1. Parameter DAS yang telah dikenal

DAS No.	A	L	L _{CA}	L _b	S
1.	44.49	5.50	9.25	9.25	0.0556
2.	216.37	65.00	40.50	35.30	0.0064
3.	182.93	23.50	12.00	18.00	0.0276
4.	771.75	61.00	31.50	38.75	0.0156
5.	3236.19	202.50	115.00	117.00	0.0076
6.	825.93	84.50	54.50	49.00	0.0090
7.	627.20	57.00	31.00	38.50	0.0197
8.	521.19	46.00	21.00	32.25	0.0506
9.	295.02	59.00	33.00	19.50	0.0093
10.	1373.54	84.00	31.00	47.75	0.0200
11.	251.31	42.00	25.25	32.50	0.0470
12.	100.60	23.50	15.25	22.75	0.0600
13.	2018.75	137.00	74.00	73.00	0.0016
14.	3258.83	121.50	52.50	62.25	0.0083
15.	658.06	103.00	48.50	50.00	0.0048
16.	411.67	36.50	11.50	24.00	0.0479
17.	73.75	74.00	30.30	48.00	0.0268
18.	64.58	37.50	19.00	36.52	0.0167
19.	46.46	88.00	40.00	58.00	0.0239
20.	2017.79	100.00	55.50	70.75	0.0216
21.	193.69	23.00	8.50	22.00	0.0363
22.	2753.26	132.00	62.00	86.00	0.0170
23.	726.85	62.00	31.50	38.50	0.0344
24.	148.22	28.00	7.50	24.00	0.0189
25.	656.66	44.00	16.00	33.25	0.0162
26.	351.08	48.50	19.50	31.25	0.0152
27.	285.05	44.00	25.50	30.00	0.0080
28.	751.00	61.00	28.50	48.50	0.0048
29.	592.80	49.50	12.50	30.75	0.0058
30.	2102.58	83.50	27.50	50.50	0.0078

Tabel 1. (Lanjutan)

DAS No.	R _b	R _c	R _e	D	F
1.	2.28	0.470	0.814	1.433	0.787
2.	4.08	0.399	0.468	1.192	0.411
3.	3.45	0.579	0.848	1.656	0.902
4.	4.24	0.495	0.809	1.316	0.678
5.	3.74	0.257	0.549	1.264	0.700
6.	3.74	0.511	0.662	1.401	0.849
7.	4.35	0.651	0.734	1.607	0.821
8.	3.12	0.567	0.798	1.492	0.712
9.	3.54	0.394	0.994	1.066	0.610
10.	3.93	0.564	0.876	1.373	0.800
11.	3.69	0.506	0.550	2.019	1.118
12.	3.24	0.506	1.497	1.372	0.427
13.	4.91	0.338	0.694	1.000	0.465
14.	4.22	0.394	1.035	1.281	0.554
15.	4.28	0.513	0.579	1.181	0.650
16.	4.31	0.544	0.953	2.240	1.137
17.	3.37	0.622	0.902	2.034	1.033
18.	3.23	0.515	0.666	1.933	0.883
19.	3.55	0.677	0.813	2.099	1.098
20.	3.61	0.589	0.716	1.959	1.037
21.	3.94	0.604	0.837	1.713	1.316
22.	3.89	0.478	0.688	1.888	1.273
23.	4.58	0.375	0.790	1.613	0.883
24.	2.86	0.202	0.572	1.155	0.614
25.	3.98	0.528	0.870	1.107	0.397
26.	4.55	0.499	0.676	1.391	0.429
27.	4.09	0.496	0.635	1.353	1.031
28.	4.05	0.433	0.638	1.305	0.467
29.	3.73	0.469	0.893	1.514	1.324
30.	3.32	0.566	1.024	1.445	0.675

Keterangan :

- A = luas DAS, dalam km²
 L = panjang sungai utama, dalam km,
 L_{CA} = panjang sungai utama diukur dari titik di sungai ter-dekat dengan titik berat DAS, dalam km,
 L_b = panjang DAS maximum, dalam km,
 S = landai sungai rata-rata,
 R_b = bicurcation ratio, tidak berdimensi,
 R_c = circularity ratio, tidak berdimensi,
 R_e = elongation ratio, tidak berdimensi,
 D = kerapatan jaringan-kuras, dalam km/km²,
 F = stream frequency,

Tabel II. Parameter DAS yang diperkenalkan

DAS No.	WF	SIM	SF	SN	JN	RUA
1.	0.467	0.140	0.522	0.629	21	0.30
2.	5.800	3.890	0.434	0.742	65	0.67
3.	3.210	1.670	0.602	0.733	120	0.52
4.	0.520	0.240	0.553	0.731	379	0.40
5.	2.250	0.900	0.513	0.749	1937	0.40
6.	0.870	0.470	0.502	0.730	511	0.54
7.	1.870	1.100	0.540	0.734	377	0.57
8.	1.660	1.150	0.521	0.736	272	0.69
9.	0.560	0.260	0.448	0.706	126	0.47
10.	0.520	0.290	0.500	0.746	819	0.55
11.	3.060	1.840	0.542	0.726	203	0.60
12.	1.020	0.490	0.656	0.767	32	0.48
13.	0.580	0.280	0.478	0.741	694	0.48
14.	0.690	0.340	0.540	0.745	1345	0.40
15.	0.640	0.330	0.564	0.755	322	0.51
16.	0.420	0.180	0.572	0.744	347	0.42
17.	0.380	0.160	0.571	0.738	1121	0.41
18.	2.260	0.660	0.567	0.739	302	0.30
19.	0.360	0.180	0.570	0.737	1413	0.49
20.	1.650	0.810	0.562	0.737	1541	0.49
21.	0.710	0.320	0.616	0.757	192	0.45
22.	0.820	0.400	0.578	0.760	2663	0.49
23.	2.030	1.210	0.584	0.759	486	0.60
24.	0.910	0.370	0.558	0.725	67	0.41
25.	0.330	0.140	0.569	0.751	195	0.41
26.	0.410	0.230	0.581	0.718	106	0.56
27.	1.190	0.570	0.607	0.799	234	0.48
28.	0.410	0.210	0.529	0.738	258	0.51
29.	1.070	0.540	0.576	0.751	598	0.50
30.	0.590	0.270	0.534	0.738	1047	0.46

Keterangan

RUA	=	luas DAS sebelah hulu, tidak berdimensi,
WF	=	waktor-lebar, tidak berdimensi,
SIM	=	faktor simetri, tidak berdimensi,
SF	=	faktor-sumber, tidak berdimensi,
SN	=	frekuensi-sumber, tidak berdimensi,
JN	=	jumlah pertemuan sungai.
DAS 1	=	Cikapundung di Maribaya,
DAS 2	=	Cikarang di Cikarang,
DAS 3	=	Cimanuk di Bojongloa,
DAS 4	=	Cimanuk di Leuwigoong,
DAS 5	=	Cimanuk di Jatibarang,
DAS 6	=	Cisanggarung di Pasuruhan,
DAS 7	=	Citanduy di Cirahong,
DAS 8	=	Cimandiri di Tegaldatar,
DAS 9	=	Ciliman di Munjul,
DAS 10	=	Ciujung di Rangkasbitung,
DAS 11	=	Cisadane di Batubeulah,
DAS 12	=	Serang di Muncar,
DAS 13	=	Luas di Menduran,
DAS 14	=	Solo di Jurug,
DAS 15	=	Oyo di Kedungmiri,
DAS 16	=	Progo di Kranggan,
DAS 17	=	Progo di Borobudur,
DAS 18	=	Elo di Mendut,
DAS 19	=	Progo di Duwet,
DAS 20	=	Progo di Bantar,
DAS 21	=	Luk Ula di Kaligending,
DAS 22	=	Serayu di Banyumas,
DAS 23	=	Bodri di Juwero,
DAS 24	=	Welang di Purwadadi,
DAS 25	=	Sampean di Masabit,
DAS 26	=	Kalibaru di Karangdara,
DAS 27	=	Sanen di Sanen,
DAS 28	=	Bedadung di Rawatamtu,
DAS 29	=	Grindulu di Gunungsari,
DAS 30	=	Madiun di Nambangan.

Hubungan dalam persamaan-persamaan tersebut menunjukkan perbedaan dengan persamaan serupa yang diturunkan oleh para peneliti di Eropa. Hal ini sangat memperkuat anjuran bahwa setiap model yang dikembangkan hendaknya didasarkan pada parameter-parameter yang berlaku dan diuji dengan data yang tersedia. Pada dasarnya model-model lain dapat dikembangkan dengan dasar pandangan sejenis, dengan memperhatikan andaian, dan konsep dasar yang dipergunakan. Sementara pihak menganjurkan agar parameter-parameter DAS yang sangat dipengaruhi oleh perilaku manusia atau kemungkinan besar dipengaruhi perikelihood manusia diperlakukan dengan sangat hati-hati.

Kesimpulan

Dalam penelitian ini dapat diringkaskan beberapa kesimpulan berikut ini.

1. Sebagian besar parameter DAS yang diukur, secara terpisah tidak menunjukkan peranan langsung terhadap salah satu besaran hidrologi, akan tetapi peranan tersebut dapat sangat menonjol dalam kaitan dengan parameter lainnya.
2. Penetapan jenis dan besaran parameter DAS hendaknya dilakukan dengan hati-hati berdasar logika hidrologi yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan.
3. Pemakaian persamaan-persamaan empirik hendaknya dilakukan dengan sangat hati-hati karena dapat menghasilkan hitungan yang sangat menyimpang.
4. Penyusunan model hendaknya didasarkan pada parameter yang berlaku. Parameter yang sangat peka hendaknya diperlakukan dengan hati-hati mengingat pengaruhnya dapat sangat berbeda pada keadaan dan fase hidrologi yang berbeda.

Ucapan Terima Kasih

Penulis sangat berterima kasih kepada beberapa asisten hidrologi yang membantu menyiapkan data yang memungkinkan dianalisis lebih lanjut dan menyiapkan beberapa gambar yang diperlukan.

Daftar Pustaka

- Askew, A.J., 1970, "Derivation of Formulae for - Variable Lag Time", *Journal of Hydrology*, No. 10, 225 - 242.
- Black, P.E., 1971, "Hydrograph Response to Geometric Model Watershed Characteristics and Precipitation Variables", *Journal of Hydrology*, No. 1, 309 - 329.
- Gupta, S.N., A.P. Batacharya, S.R. Jindal, 1967, "Statistical Correlation of Himalayan and Bundelkhand Basin Characteristics with Flood Flows", *Floods and Their Computations*, Proceeding of the Lenin-grad Symposium, Vol II, p 874 - 879.
- Halasi-Kun, G.J., 1973, "Computation of Peak Floods with Inadequate Hydrologic Data", *Decision with Inadequate Data*, David A. Woolshier (ed), Proceeding of the Second International Symposium in Hydrology, p.57 - 73, WRP, Fort Collins, Colorado.
- Rodda, J.C., 1967, "The Significance of Characteristics of Basin Rainfall and Morphometry in a Study of Floods in the United Kingdom", *Floods and Their Computations*, Proceeding of the Lenin-grad Symposium, Vol. II, p. 834 - 844, IASH, Unesco, Geneva.
- Sri Harto, 1985, "Pengkajian Sifat Dasar Hidrograf-satuan Sungai-Sungai di Pulau Jawa untuk Perkiraan Banjir", Disertasi Ilmu Teknik, UGM.
- Sri Harto, 1986a, "Perbaikan Kualitas Jaringan Hidrologi Sejalan dengan Perubahan Pola Pemanfaatan Air", *Media Teknik*, Edisi Khusus, No. 1 Th VIII, Fak. Teknik UGM, 8 - 12.
- Sri Harto, 1986b, "The Gama I Synthetic Unit Hydrograph", Proceeding of the Fifth IAHR Congress, Vol IV, Hydrology and Drainage, 107 - 120.
- Sri Harto, 1986c, "Pengaruh Kerapatan Jaringan Stasiun Hujan Terhadap Ketelitian Perkiraan Hujan Rata-rata, Dalam proses penerbitan.
- Sri Harto, 1986d, "Pengaruh Penyebaran Lokasi Stasiun Hujan Pada Hitungan Hujan Rancangan", Seminar Geografi UGM.